

自動気管支枝名対応付けにおけるモデル選択法の改善

江間 慎弥¹ 森 健策¹ 北坂 孝幸¹ 目加田 慶人² 井手 一郎¹
村瀬 洋¹ 高畠 博嗣³ 森 雅樹⁴ 名取 博⁵

¹名古屋大学大学院情報科学研究科 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

²中京大学生命システム工学部 〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101

³札幌南三条病院 〒060-0063 北海道札幌市中央区南 3 条西 6

⁴札幌厚生病院 〒060-0033 北海道札幌市中央区北 3 条東 8-5

⁵札幌医科大学 〒060-8556 北海道札幌市中央区南 1 条西 17

E-mail: ¹sema@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ¹kensaku@is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 本稿では気管支枝名対応付け手法において、分岐パターンと枝の走行方向に基づいた気管支枝モデルの選択法について述べる。従来法は 3 次元胸部 X 線 CT 像から抽出した気管支枝に対し、あらかじめ用意した複数の気管支枝のモデルを部位ごとに走行方向の差異を平均して評価し、最適モデルを選択して解剖学的名称を対応付けた。しかし、差異の平均を評価しているため部分的に分岐パターンの異なるモデルを選択するという問題点があった。提案手法では枝の分岐ごとに分岐パターンを調べ、モデルを対応付けの候補からふるい落としとしていく。また、右上葉支では区域支の走行方向を利用してモデルをふるい落としした後、モデルの選択を行う。これにより、より最適なモデルを選択し、枝名対応付けの精度の向上を図る。我々は提案手法を 25 例の胸部 CT 像から抽出した気管支枝に対して適用した。その結果、全ての部位において対応付けの精度が向上し、90%の枝に正しい枝名を対応付けることができた。

キーワード 枝名対応付け, 気管支, 胸部 X 線 CT 像, 解剖学的名称, 命名法

Improved model selection method for automated anatomical labeling of bronchial branches

Shinya EMA¹ Kensaku MORI¹ Takayuki KITASAKA¹ Yoshito MEKADA² Ichiro IDE¹
Hiroshi MURASE¹ Hirotsugu TAKABATAKE³ Masaki MORI⁴ and Hiroshi NATORI⁵

¹Graduate School of Information Science, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, 464-8603 Japan

²Life System Science and Technology, Chukyo University, 101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota-shi, 470-0393 Japan

³Sapporo-Minami-sanjyo Hospital, 6 Nishi, Minami-3-jo, Chuo-ku, Sapporo-shi, 060-0063 Japan

⁴Sapporo-Kosei General Hospital, 8-5 Higashi, Kita-3-jo, Chuo-ku, Sapporo-shi, 060-0033 Japan

⁵School of Medicine, Sapporo Medical University, 17 Nishi, Minami-1-jo, Chuo-ku, Sapporo-shi, 060-8556 Japan

E-mail: ¹sema@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ¹kensaku@is.nagoya-u.ac.jp

Abstract This paper describes a model selection method based on branch patterns and bronchial directions for anatomical labeling of bronchial branches. The previous method automatically assigned anatomical names to the bronchial branches extracted from a three-dimensional (3-D) chest CT image by comparing them with bronchial tree models prepared beforehand. However, selection of an appropriate model was done by evaluating the average differences of running directions of bronchial branches between the models and the extracted tree structure part by part. Thus, the previous method selected the wrong model and assigned incorrect names. To cope with such mis-labeling, the proposed method removes models from the candidates for labeling by checking branching pattern in each branch point. In the right upper lobe, the proposed method removes models by checking directions of segmental bronchi, and selects a model from remaining models. We applied the proposed method to bronchial branches extracted from twenty-five cases of chest CT images. In the result, the proposed method could assign correct names to 90% of bronchial branches.

Keyword anatomical labeling, bronchus, chest CT image, anatomical names, nomenclature

1. はじめに

胸部の画像診断において、医師は腫瘍などの異常陰影を読影する際、気管支などの正常構造に基づいて診断している。気管支の各枝には解剖学的名称が付いており、医師はこの名称を用いて肺野における異常陰影の位置を同定する。診断の際、医師は自らの知識に基づいて画像上の気管支枝の名称を判断する。しかし気管支は複雑な分岐構造を持つ臓器であるため、気管支枝の名称を判断するのは大変な作業である。そのため、胸部の画像診断を計算機により支援するシステムを考えた場合、気管支の各枝の解剖学的名称を自動的に認識し、対応付ける機能が不可欠である。

これまでに、いくつかの気管支枝名対応付け手法が研究されてきた[1,2,3,4]。これらの手法は、CT 像から抽出した気管支領域を細線化、木構造化することで気管支の分岐構造を表すグラフ表現(木構造データと呼ぶ)を求め、それに対して枝名を対応付けるものであった。Mori らは、気管支の解剖学的名称を付加した木構造データ(モデル)とのグラフマッチングにより枝名を対応付けた[1]。また Kitaoka らは、数理的に生成した仮想の気管支をモデルとして、枝名を対応付ける気管支との間に重み付き関係グラフを構築し、その最大重み被覆を探索することで枝名の対応付けを行った[2]。

これに対し、我々はこれまでに気管支を 5 つの部位に分割し、部位ごとに枝名を対応付ける手法を研究してきた[4](以後、従来法と呼ぶ)。5 つの部位とは、気管と左右主気管支、右の主気管支より末梢の右上葉部、右中下葉部、左主気管支より末梢の左上葉部、左下葉部である(図 1)。従来法では、実際の気管支枝を基に作成した分岐パターンの異なるモデルを複数用意し、部位単位で適切なモデルを選択的に適用して枝名を同定していた。ここでいう分岐パターンとは気管支枝の分岐順序や Subsuperior 枝(B*)の有無などのことである。適切なモデルとは各モデルを木構造データに沿うように変形した際に、枝の平均変形量が最小となるモデルとして定義していた。従来法の問題点の一つとして、入力木構造と分岐パターンが異なるモデルにおいて、一部の枝の走行方向が入力木構造と非常に似ている場合、このモデルが選択され、間違っただ対応付けがなされることがあった。この原因の一つは、部位単位で一つのモデルを選択していることである。また、別の問題として、右上葉部は上葉支からの分岐パターンのバリエーションが多いため、正しいモデルの選択が困難であった。

本稿では、これらの問題を解決するために、気管・主気管支を除く 4 つの部位に対して分岐ごとに分岐パターンを調べ、モデル候補をふるい落としながら最適なモデルを選択する方法を提案する。ただし、右上葉部に対しては前述の問題に対処するために右上葉部専用のモデルふるい落としを行う。ふるい落としにより、明らかに分岐パターンの異なるモデルが徐々にモデル候補から外され、より適切なモデルが選択される。それぞれの手法の詳細は 4.2、4.3 で述べる。

2. 気管支の構造

咽頭から伸びる気管は左右の主気管支に分かれ、左右の肺門に入る。右の主気管支は上葉、中葉、下葉の 3 つの葉気管支に、左の主気管支は上葉、下葉の 2 つの葉気管支に分岐する。各葉気管支はさらに区域支、亜区域支に分岐していく。

気管支は区域支以降で個人によって枝の分岐パターンに違いがある。例として右上葉部では、上葉支から B1, B2, B3 の 3 本の区域支が分岐するが、人によって上葉支から B1 と B2, B3 の共通幹が分岐し、共通幹の先で B2, B3 が分岐する場合や、B3 と B1, B2 の共通幹が分岐し、共通幹の先で B1, B2 が分岐する場合など様々なパターンがある。また左右の下葉部では、Subsuperior 枝を持つ人と持たない人がいる。Subsuperior 枝を持つ人の中にも、その枝の分岐が、B8 より気管側の場合、末梢側の場合などの違いがある。

3. 気管支枝のモデル

気管支枝のモデルとは、気管支枝の分岐パターンを部位単位で表したグラフ表現であり、図 2 中の式で表される。各モデルはその部位に存在する気管支枝に対応する辺と枝の端点・分岐点に対応する頂点の集合からなる。また、各辺は対応する気管支枝の属性として解剖学的名称、走行方向、親枝の名称を持っている。

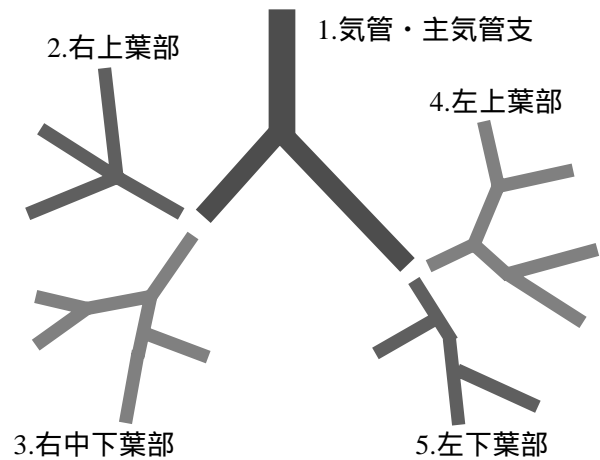


図 1：気管支部位

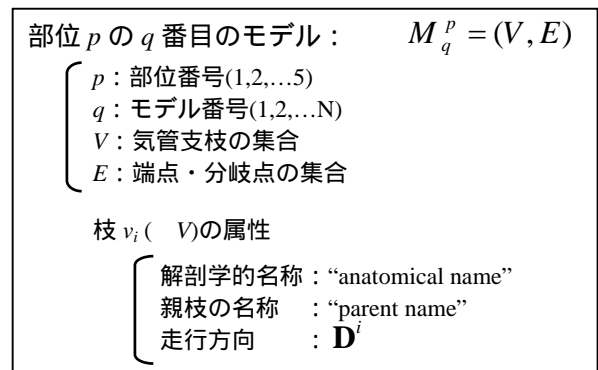


図 2：気管支枝のモデルの定義

4. 気管支枝名対応付け手法

4.1. 概要

3次元胸部CT像から木構造追跡[5]により気管支の木構造データを抽出する。抽出した木構造データの気管・主気管支に対しては、従来法[4]により正しい枝名を対応付けられるため、この手法を用いることとする。主気管支より末梢の右上葉部以外の部位では、分岐ごとに枝名を対応付けるために4.2で示される処理を実行する。右上葉部では、多様な分岐パターンに対して、適用するモデルを絞り込むために4.3で示される処理を実行する。

4.2. 分岐ごとのモデルふるい落とし法

主気管支の子枝に、対応する枝名(右中下葉部であれば中間気管支)を付け、注目枝Oとする。Oの子枝に対し、4.2.1~4.2.4の処理により枝名を対応付ける。Oの子枝を幅優先順に次の注目枝Oとして、その子枝に対して同様に枝名を対応付けていく(図3)。

4.2.1. モデルのふるい落とし1

Oに対するモデル候補集合を用意する。Oの親枝が主気管支の場合、モデル候補集合は現在処理している部位の全モデルとする。それ以外の場合はOの親枝に対するモデル候補集合を受け継ぐ。モデル候補集合の各モデルM_iの枝のうち、Oと同名の枝をO_i'とする。

OとO_i'の子枝の数が異なる場合、モデルM_iをモデル候補

集合からふるい落とす。一度ふるい落とされたモデルはOより末梢の枝に対する対応付けには利用されない。

4.2.2. 各モデルの類似度計算

モデル候補集合の各モデルについて以下の手順で木構造データとの類似度を計算する。まず、O_i'の走行方向がOと等しくなるように、O_i'の始点を中心にしてM_iを回転させる。Oの子枝とO_i'の子枝の対応の全ての組み合わせを考え、組み合わせごとに対応付けた枝同士の間積の和を計算する。この内積の和をモデルM_iの類似度とする。

4.2.3. 枝名対応付け

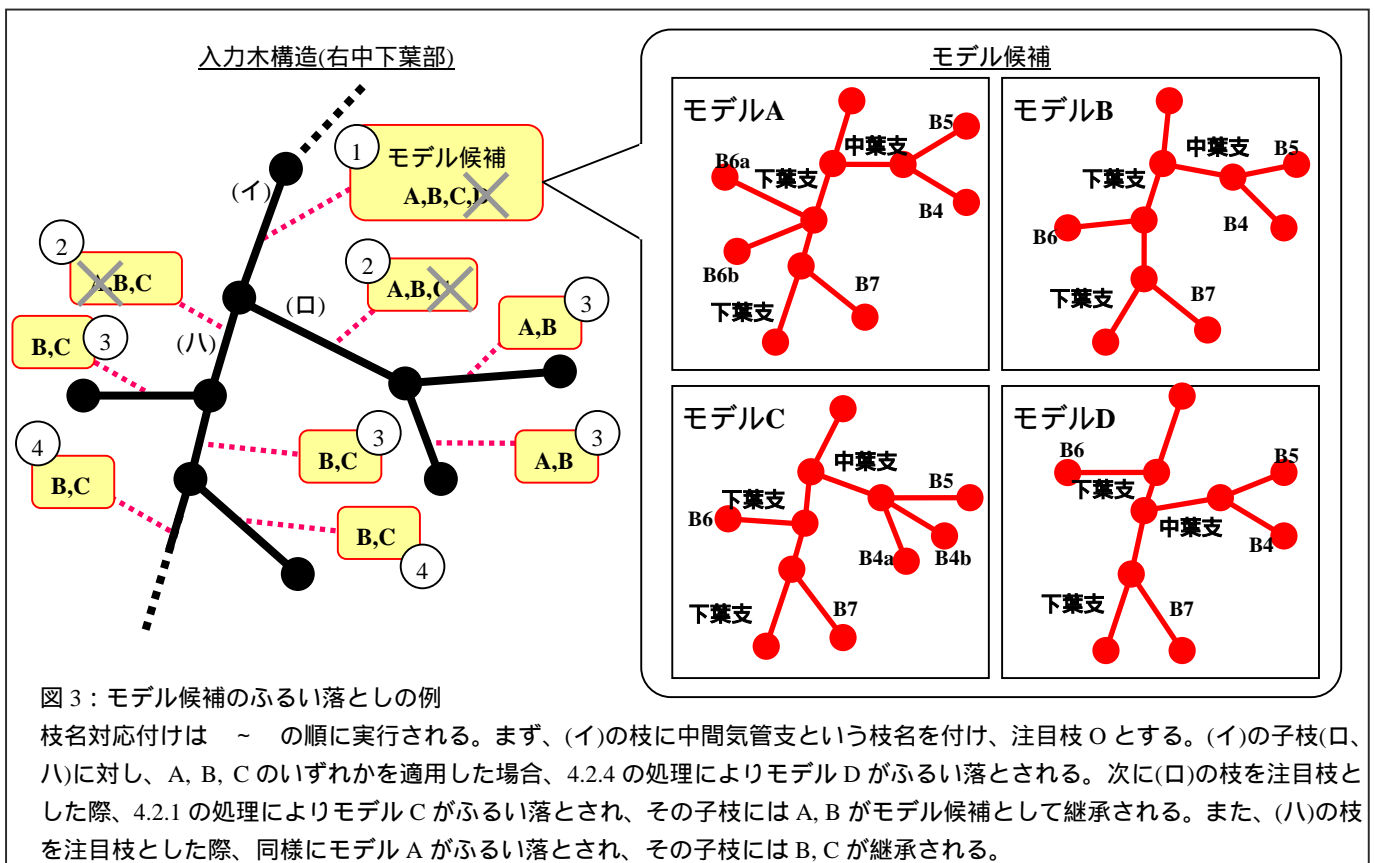
モデル候補集合から、類似度が最小となるモデルM_pを選択し、O_p'の子枝の枝名を対応するOの子枝に付与する。

4.2.4. モデルのふるい落とし2

モデル候補集合の各モデルにおいて、O_i'の子枝の枝名とO_p'の子枝の枝名を比較する。O_p'の子枝と同名の枝がO_i'の子枝に無い場合、モデルM_iをモデル候補集合からふるい落とす。

4.3. 右上葉部におけるモデルふるい落とし法

右上葉部は上葉支からB1, B2, B3の3本の区域支が分岐し、頭側方向、背側方向、および腹側方向に向かう枝にそれぞれB1, B2, およびB3という名前が付けられる[6]。これらの区域支の分岐順序は、個人によって違いがあり、様々な分岐パターンが存在する。そのため、入力木構造データに対し、それとは異なる分岐パターンのモデルで枝名を対応付けた場合、



区域支の枝名がその区域支の本来の向きとは異なる方向に向かう枝に対応付けられることがある。そこで、そのような対応付けを行うモデルをあらかじめモデル候補からふるい落としておくことで、モデルの選択誤りの軽減を図る。

用意した右上葉部の全てのモデルをモデル候補集合とする。モデル候補集合の各モデル M_i において 4.3.1 ~ 4.3.2 の処理を行い、モデルをふるい落とす。その後、4.3.3 により枝名を対応付ける。

4.3.1. 仮の枝名対応付け

木構造データの主気管支から右上葉部に向かう枝に上葉支という枝名を付け、注目枝 B とする。 B の子枝に対し、4.3.1.1 の処理により枝名を対応付ける。 B の子枝を幅優先順に次の注目枝 B とし、その子枝に対して同様に枝名を対応付けていく。

4.3.1.1. 枝名対応付け

モデル M_i において、 B と同名の枝を B_i' とする。 B_i' の走行方向が B と等しくなるように、 B_i' の始点を中心にして M_i を回転させる。 B の子枝と B_i' の子枝の対応の全ての組み合わせを考え、組み合わせごとに対応付けた枝同士の走行方向の内積の和を計算する。内積の和が最小となる組み合わせによって B_i' の子枝の枝名を B の子枝に付与する。

4.3.2. モデルのふるい落とし

木構造データの上葉支の始点から、 M_i によって $B1, B2, B3$ と対応付けられた枝への単位ベクトルを U_1, U_2, U_3 とする(図 4)。また、モデル M_i の上葉支の始点から $B1, B2, B3$ への単位ベクトルを V_1, V_2, V_3 とする。そして、ベクトルの内積 $U_1 \cdot V_1, U_2 \cdot V_2, U_3 \cdot V_3$ を計算する。少なくとも 1 つの内積が閾値以下の場合、 M_i はモデル候補集合から除外される。つまり、 M_i によって対応付けられた区域支の走行方向が、 M_i の区域支に対応する枝の走行方向と大きく異なる枝が一本でもある場合、 M_i がふるい落とされる。

4.3.3. 従来法によるモデル選択

4.3.2 までの処理でふるい落とされなかったモデル候補集合から、従来法によりモデルを選択し枝名を対応付ける。

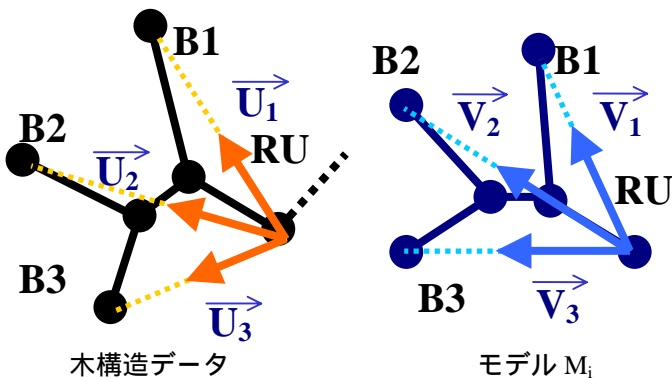


図 4：単位ベクトルの定義

5. 実験

3次元胸部 CT 像から抽出した[5]気管支の木構造データ 25 例に対し、枝名対応付けを行った。気管支のモデルは、症例ごとに Leave-one-out 法(L 法)により対応付け対象の症例を除いた 24 例を基に生成した[7]。分岐パターンの種類は右上葉部 6 種類、右中下葉部 8 種類、左上葉部 5 種類、左下葉部 6 種類であった。従来法[4]、および提案手法により対応付けを行い、対応付け精度を比較した。閾値は ≥ 0.8 とした。評価はそれぞれの手法による対応付け結果を、医師が枝名を対応付けた正解データと比較して、気管から区域支までの枝について正しい枝名を対応付けた枝の数によって行った。

6. 結果

実験結果を部位ごとにまとめたものを表 1 に示す。枝数とは医師により正しい対応付けがなされている枝数である。これらの枝に対し、それぞれの手法で正しい枝名を対応付けた枝の数(正解対応付け枝数)とその割合を示す。提案手法では従来法に比べ、全ての部位において正解対応付け枝数が増加し、区域支までの枝の 90% に対して正しい枝名を対応付けることができた。対応付け結果の一部を図 5 に示す。

モデルを L 法で生成したため、対応付けの際に対応する分岐パターンのモデルが存在しない場合が、全症例(25 例)のうち 9 例の 12 の部位であった。それらを除き、従来法では 9 例の 15 の部位で間違った対応付けがあった。この 15 の部位のうち、提案手法では 10 の部位で正しい枝名を対応付けることができた(図 5 左上、左中、左下、右上、右下)。また、残りの 5 つの部位で間違った対応付けが増加することはなかった。一方、4 例の 4 つの部位では従来法では正しく枝名が対応付けられていたが、提案手法では間違った対応付けがされた(図 5 右中)。

7. 考察

本稿に示す手法を導入することにより従来法と比較して大幅に枝名対応付け精度が向上していることがわかる。これは部位単位で 1 つのモデルを選択するのではなく分岐レベルが進むにつれて、より適切なモデルを選択する仕組みを取り入れたためである。また右上葉部においては簡便な手法ではあるものの、それぞれの枝の支配する領域をチェックすること

表 1：部位ごとの正解対応付け枝数

	枝数	従来法	提案手法
気管・主気管支	75	75(100%)	
右上葉部	124	106 (85.5%)	110 (88.7%)
右中下葉部	322	268 (83.2%)	291 (90.4%)
左上葉部	183	159 (86.9%)	165 (90.2%)
左下葉部	184	146 (79.3%)	158 (85.9%)
合計	888	754 (84.9%)	799 (90.0%)

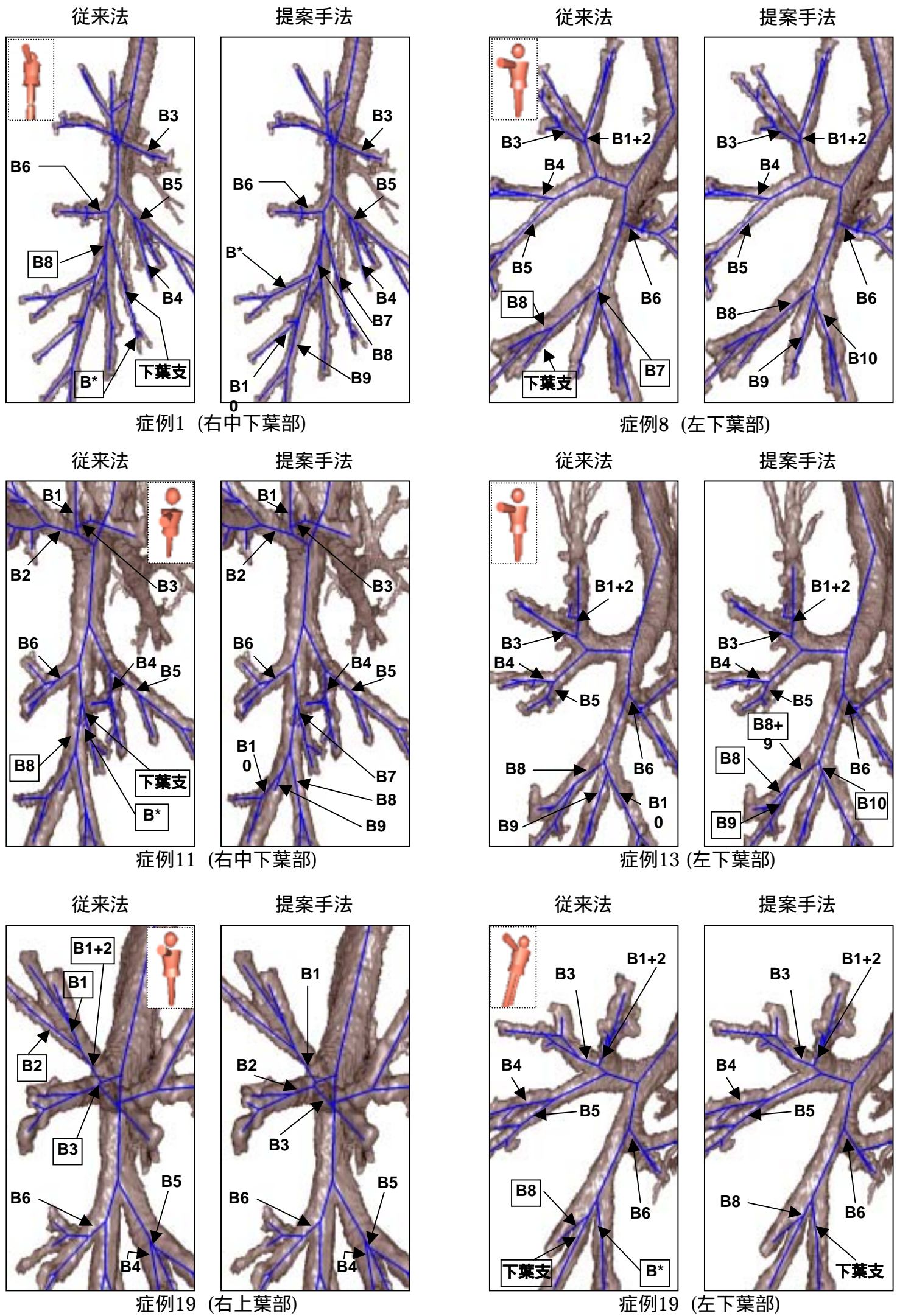


図5：枝名対応付け結果の例 (枠付きは間違っただ対応付け・枠無しは正しい対応付け)

によって精度が大幅に向上した。図 5 左中に示す症例 11 の右中下葉部は、下葉支から B6, B7, B8, B9, B10 の順で枝が分岐するが、従来法では B*を持つモデルが選択され、B7 が分岐する分岐点以降で間違っただ対応付けがされた。このモデルが間違っただ適用された理由は B6 や中葉支以降の枝が入力木構造の枝と走行方向が非常によく似ていたためである。提案手法では、分岐ごとにモデルを評価するため、B6 や中葉支以降の枝の走行方向の影響を受けなかった。そのため提案手法では、従来法で間違っただ適用されたモデルを選択せず、正しいモデルを選択して B7 の分岐に枝名を対応付けることができた。従来法では左右の下葉支以降で同様の理由による間違っただ対応付けが多く見られたが、提案手法ではそれらの枝に対する対応付けの精度が向上した。

その一方で症例 13 の左下葉部のように、従来法では正しいモデルにより正しい枝名が対応付けられていたが、提案手法では途中から間違っただ対応付けをした例が 4 例あった(図 5 右中)。症例 13 は下葉支から B8 と B9, B10 の共通幹に分岐するパターンであるが、提案手法では B10 と B8, B9 の共通幹に分岐するモデルが適用されていた。本来適用されるべきモデルは下葉支から B8 が腹側、B9, B10 の共通幹が背側に分岐するモデルである。一方、間違っただ適用されたモデルは下葉支から B8, B9 の共通幹が腹側、B10 が背側に分岐するモデルである。これら 2 つのモデルは下葉支からの枝の分岐方向が似ているため、正しいモデルが選択されなかったと考えられる。このように分岐パターンは異なるが、枝の走行方向は互いに似ているモデルが存在する場合、正しいモデルをふるい落とししてしまい、間違っただ対応付けをすることがあった。左右の下葉支は枝全体が下方に向かっていているため、分岐パターンは異なるが走行方向が似ているモデルが複数個生成されることがある。そのため、左右の下葉支以降の枝に対して適用するモデルを選択する際には、枝の方向以外の特徴量も利用する必要がある。

症例 19 の右上葉部は、上葉支からと B1 と B2, B3 の共通幹に分岐するパターンであるが、従来法では別のモデルにより、本来の B1 に対して B1, B2 の共通幹(B1+2)が、本来の B2, B3 の共通幹に対して B3 が対応付けられた(図 5 左下)。この B3 と付けられた枝(本当は B2, B3 の共通幹)は外側方向に向かうが、このとき適用されたモデルの B3 は腹側方向に向かうため、両枝の走行方向のずれは大きくなった。そのために提案手法ではこのモデルがふるい落とされ、正しいモデルが選択された。このことから対応付けの前処理として、区域支の枝名をその区域支本来の方向とは大きく異なる方向に向かう枝に対応付けるモデルをふるい落とす処理は有効であると考えられる。今回は区域支の走行方向をふるい落としの基準としたが、対応付け結果は閾値によって大きく変わるため、安定して正しい対応付け結果を得るためのふるい落としの基準を検討する必要がある。

8. むすび

本稿では、気管支枝名対応付け手法における新たなモデル選択法として、分岐ごとのモデルふるい落としと、右上葉部におけるモデルふるい落としの 2 つの手法を提案した。提案手法を 25 例の 3 次元胸部 CT 像から抽出した気管支に対して適用した結果、従来法に比べ区域支までの枝に関して正解対応付け枝数が 5.1% 増加し、90% の枝に正しい枝名を対応付けた。今後の課題としては、亜区域支以降の枝に対する対応付け手法の検討やモデル選択のための評価基準の検討などがある。現在は、モデル選択の評価基準として分岐する枝の走行方向のみを利用しているが、より末梢の枝の走行方向情報も利用することなどが考えられる。

謝辞 日頃ご検討頂く名古屋大学村瀬・末永両研究室諸氏に感謝する。本研究の一部は、文部科学省・日本学術振興会科学研究費補助金、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「社会情報基盤のための音声・映像の知的統合」、私学 HRC 助成金、及び厚生労働省がん研究助成金によった。

文 献

- [1] K. Mori, J. Hasegawa, Y. Suenaga et al.: Automated Anatomical Labeling of the Bronchial Branch and Its Application to the Virtual Bronchoscopy System. IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol19, 2000
- [2] H. Kitaoka, Y. Park, J. Tschirren et al.: Automated Nomenclature Labeling of the Bronchial Tree in 3D-CT Lung Images. T.Dohi and R.Kikinis (Eds.) MICCAI2002, LNCS2489, pp.1-11, 2002
- [3] J. Tschirren, K. Palagyi, J. Reinhardt et al.: Segmentation, Skeltonization, and Branchpoint Matching - A Fully Automated Quantitative Evaluation of Human Intrathoracic Airway Trees. T.Dohi and R.Kikinis (Eds.) MICCAI2002, LNCS2489, pp.12-19, 2002
- [4] 江間慎弥, 北坂孝幸, 森健策, 他: 気管支木構造モデルの変形に基づく気管支枝名対応付けの検討, 第 13 回コンピュータ支援画像診断学会, 2003
- [5] T. Kitasaka, K. Mori, J. Hasegawa et al. :A Method for Extraction of Bronchus Regions from 3D Chest X-ray CT Images by Analyzing Structural Features of the Bronchus, FORMA, 17, pp.321-338, 2002
- [6] H. Yamashita :Roentgenologic Anatomy of the Lung, Igaku-Shoin, 1978
- [7] 江間慎弥, 北坂孝幸, 森健策, 他: 気管支枝名対応付け手法における複数モデル導入の検討, 第 22 回日本医用画像工学会大会抄録集, 2003